i. *Validation des données*





Figure 10: Photos de la Sanne (à gauche) et du Sonnet (à droite)

Au cours des 3 années de suivi, une seule sonde a été perdue, au cours d'une crue de printemps ou à l'automne 2011, sur la station Gué d'Agnin (SAN_12).
La sonde placée en tête de bassin versant, SAN_1 ne sera pas exploitée car elle présente des assecs récurrents sur de longues périodes. Cette sonde est située dans le bois de Taravas (commune de Moissieu sur Dolon) à l'aval d'un étang, situé sur la tête du bassin versant. La Sanne reprend de l'eau plus en aval, au niveau du lieu dit Les Voges, elle est toujours en eau.
L'ensemble des autres stations de suivi présente des niveaux d'eau assez faibles, mais pas d'assecs.
Suite aux crues printanières et automnales, il arrive souvent qu'une sonde se retrouve hors d'eau, perchée en berge, ou prise dans un embâcle, limitant l'exploitation des données.
Ainsi sur plusieurs stations, les données n'ont pas pu être validées car la sonde semblait avoir été hors d'eau. Les résultats bruts sont présentés en Annexe 1.

Comme pour les stations de la Varèze, une fiche de suivi thermique a été élaborée. Elles sont présentées en Annexe 2.

ii. *Conditions thermiques générales*

Les profils de températures moyennes journalières sont similaires et varient de **0,2 à 22,3°C** de septembre 2010 à août 2011 (station la plus aval située à Salaise sur Sanne), et de **0,1 à 25,2°C** de septembre 2011 à août 2012 (station la plus aval située à Chanas).
En 2012, une période de très grand froid a duré pendant environ 15 jours, début février ; ce qui explique les faibles températures à cette période. (cf. Annexe 3 sur la température à La Chapelle de Surieu en février 2012).

Durant la période hivernale, l'ensemble des stations a un comportement relativement similaire. On observe que durant l'hiver 2010-2011, les températures moyennes journalières passent régulièrement sous le *preferendum* thermique de la truite à partir de début décembre, avec des fluctuations importantes (entre 0 et 8°C) jusqu'à début voire mi-février où les températures repassent au dessus de 4°C (*preferendum* thermique de la truite).
On remarque cependant que **la Sanne au niveau de Ville sous Anjou (SAN_12 et SAN_13) a un comportement thermique plus « tamponné » qu'en amont**. En effet, les températures mini instantanées avoisinent 4°C (+/- 0,2°C). Les températures hivernales ne passent donc jamais en dessous du *preferendum* thermique de la truite.
Durant l'hiver 2012, les stations ont également un comportement similaire. Les températures moyennes journalières deviennent inférieures au *preferendum* thermique plus tard (début à mi-janvier) avec un réchauffement mi-janvier, pour rester proches de 0°C pendant les 15 premiers jours de février (cf. § ci-dessus). Il est intéressant de noter que, même pendant cette période de froid prolongé, les températures mini instantanées de la Sanne au niveau de Ville sous Anjou atteignent 3,8°C, et la température moyenne journalière la plus basse est de 4,3°C.
Il est donc intéressant de noter l'influence de la hauteur d'eau, et de la présence d'une ripisylve en bon état sur le fonctionnement thermique d'un cours d'eau.
Sur l'ensemble des autres stations, on observe une remontée des températures au dessus du *preferendum* thermique de la truite à partir de fin février.

Entre mars et juin, la structure thermique adopte un schéma relativement classique d'augmentation progressive des températures de l'amont vers l'aval, notamment sur le cours principal (figure 11).
On observe également une baisse des températures à la mi-avril et à la mi-mai, qui correspond souvent à la crue de printemps.

En ce qui concerne les températures estivales, elles peuvent être considérées comme élevées en aval du bassin versant. Sur la Sanne et ses affluents, les températures instantanées s'échelonnent de **17,3 à 25,1°C** en 2011, et de **20 à 30,9°C** en 2012. Les températures moyennes journalières sont plus nuancées avec des maximum compris ente **16,6 et 22,3°C** en 2011 et entre **17,6 et 25,2°C** en 2012.
Les températures moyennes des 30 jours les plus chauds restent en dessous de 19°C jusqu'à la station aval du pont de l'autoroute à Salaise sur Sanne. Ainsi on note des Tm30jmax de **15,03 à 17,88°C** jusqu'à Ville sous Anjou durant l'été 2011, alors qu'elle est de 19,31°C à Salaise sur Sanne. Il semblerait que l'été 2012 ait été plus chaud, ainsi les Tm30jmax s'échelonnent de **16,33 à 19,33°C** jusqu'à Ville sous Anjou. Les 3 stations les plus aval, ont des Tm30jmax qui vont de **20,38 à 21,93°C.**

La figure 11 ci-après présente l'évolution spatiale de la température sur le cours d'eau de la Sanne pour 2012.

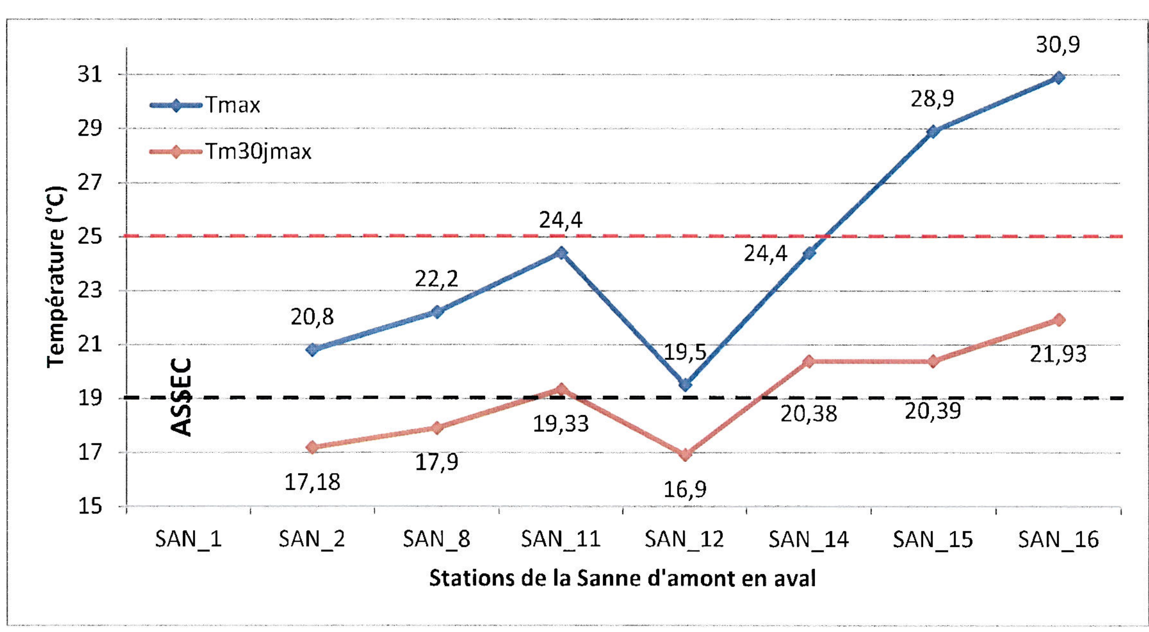


Figure 11: Températures maxi et Tm30jmax sur la Sanne, été 2012

On observe sur la figure 11, que **la température a tendance à augmenter de l'amont vers l'aval**. Cependant, comme dit précédemment, on observe que la station SAN_12 à Ville sous Anjou, présente des températures plus fraîches que l'ensemble des autres stations. **Cette station présente une belle ripisylve et une hauteur d'eau suffisante qui permettent de limiter l'impact du rayonnement solaire**, contrairement à la station plus en amont SAN_11, qui malgré la hauteur d'eau subit l'exposition solaire aux heures les plus chaudes de la journée. (en 2011, la température moyenne des 30 jours consécutifs sur la station SAN_11 s'élevait à 17,88°C).

Il est donc essentiel de souligner l'impact favorable de la présence d'une végétation arborée le long des cours d'eau.

Au niveau de la station aval SAN_14, la Sanne au niveau du pont de l'autoroute, on observe des températures maximales élevées, proches de la température létale de la truite (24,4°C), et une température moyenne des 30 jours les plus chauds bien au-delà du *preferendum* thermique de la truite, avec 20,38°C.

Sur le dernier tronçon étudiée la Sanne, les températures maximales explosent, avec 28,9°C et 30,9°C sur les deux stations les plus à l'aval. Ce tronçon canalisé subit le rayonnement solaire, malgré la présence dense de .... Renouée du Japon ! Plus en amont, les températures sont déjà élevées, et la **Sanne subit l'effet de la chenalisation et du manque de ripisylve le long de ses berges.** Malheureusement, aucun affluent n'apporte des eaux plus fraîches ; le Dolon, seul affluent sur la partie aval, est en assec plus de la moitié de l'année.

De manière générale, la Sanne ne peut pas compter sur ses affluents pour maintenir des débits et/ou maintenir une température fraîche. En effet, on compte peu d'affluents pérennes sur ce bassin versant, et la majorité ne coule que lors de fortes précipitations. Les affluents en eau, Ruisseau des Guichards, Sordures et Sonnet, ont des débits très faibles aux confluences, et subissent plus en amont des assecs parfois sévères.

Aucune des stations étudiées ne présente les caractéristiques d'un milieu tamponné, par des apports d'eau fraîche en provenance de la nappe (faibles amplitudes journalière et annuelle), considérés comme très favorables à la vie salmonicole. En effet, toutes les stations présentent des amplitudes thermiques journalières maximales fortes (Annexe 1) d'au moins 5°C. Ces fluctuations journalières de température trop marquées (supérieures à 3 - 4° C) pourraient compromettre le développement embryonnaire des œufs (Kokurewicz 1979).

Les amplitudes thermiques saisonnières sont également élevées, avec une différence entre la température moyenne journalière minimale et maximale supérieure à 15°C pour l'ensemble des stations étudiées. **Ces fortes amplitudes sont défavorables à la vie piscicole**, en effet des fortes et brutales variations de températures sont synonymes de dépenses plus importantes d'énergie chez les poissons afin de réguler leur métabolisme.

La Sanne, malgré des débits faibles, ne subit pas d'assec, excepté sur sa partie très amont, en tête de bassin versant, à l'aval de l'étang présent dans le bois de Taravas. Les températures moyennes des 30 jours les plus chauds sont dans le *preferendum* thermique jusqu'à l'aval, à Salaise sur Sanne.

iii. Période de croissance et preferendum thermique de la truite fario

L'ensemble des résultats obtenus à partir des températures recueillies permet d'obtenir des données importantes sur le cycle de la truite de rivière. Rappelons que cette espèce est très exigeante vis-à-vis de la température. En effet, tout son cycle biologique est régi par ce paramètre (entre autres), et son preferendum thermique se situe entre 4 et 19°C (Elliot, 1975, Crisp, 1996).

Nous constatons que sur l'ensemble du bassin versant et sur les deux étés de suivis, seuls deux affluents ont des températures strictement inférieures à 19°C : le ruisseau des Sordures, et le Sonnet sur sa station intermédiaire. Ces températures maximales ont été relevées durant l'été 2011, qui semble-t-il a été moins chaud et moins sec que 2012.

Lorsqu'on observe le pourcentage où la température moyenne journalière est inférieure à 19°C, on obtient de meilleurs résultats. Cependant il faut modérer cette information car les amplitudes journalières peuvent être très importantes. Par exemple, lorsqu'une sonde est exondée, l'amplitude journalière est très importante et la température moyenne peut être inférieure à 19°C, comme par exemple sur la station du Sonnet, SAN_5, où aucune moyenne journalière n'est supérieure à 19°C, alors que la température maximum instantanée est de 25,6°C et l'amplitude journalière maximum de 21°C.
Ainsi, en excluant ces données, on obtient toutefois 5 stations où la température moyenne journalière n'excède pas 19°C en 2011: le ruisseau des Guichards, les Sordures, le Sonnet et la Sanne aux stations SAN_12 et SAN_13. La station SAN_14 présente 8% des températures moyennes journalières supérieures à 19°C, avec des amplitudes journalières pouvant atteindre 7,7°C. En 2012, les températures semblent globalement plus élevées. Les stations aval, présentent des pourcentages pour les températures moyennes journalières supérieures à 19°C,

de 14 et 22% respectivement pour SAN_15 et SAN_16 et où les amplitudes journalières atteignent 11,4 et 12,6°C.
Par ailleurs, ces deux stations atteignent régulièrement la température létale de la truite, située à 25°C, durant la période estivale avec des pics situés à 28,9 et 30,9°C.
Les stations SAN_12 et SAN_13 présentent 100% de températures moyennes journalières comprises entre 4 et 19°C.
Rappelons qu'en dehors des valeurs de *preferendum* thermique, la truite ne s'alimente plus, elle est en état de stress physiologique, et qu'à 25°C le seuil létal est atteint.
La température optimale de croissance se situerait autour de 13,5°C avec un minimum vers 13°C et un maximum vers 14°C. Hors comme étudié dans le paragraphe *iv.* ci-après, le nombre d'heures supérieures à 15°C est relativement important sur l'ensemble des stations, et très important sur les stations à l'aval du bassin versant.

Durant la phase de développement embryo-larvaire (PEL), les températures inférieures à 1,5°C et supérieures à 15°C sont considérées comme les limites de la plage de développement optimale pour les œufs et les embryons (Jungwirth et Winkler, 1984 ; Crisp, 1996). La limite thermique de 1°C est considérée durant la phase de vie sous graviers, comme létale par plusieurs auteurs (Elliot, 1984 ; Humpesch, 1985 ; Crisp, 1988 et 1996).
Sur le bassin versant de la Sanne, aucune température durant la PEL ne dépasse 15°C. En effet, les basses températures sont les plus limitantes. Le nombre de températures instantanées inférieures à 1,5°C lors de l'hiver 2010-2011 est assez variable selon les stations. En amont la Sanne présente 483 heures inférieures à 1,5°C, alors qu'il n'y en a plus que 55 heures à St Romain de Surieu, et aucune à Gué d'Agnin. Les températures inférieures à 1,5°C sont plus limitantes à l'amont, et sont surement liées aux débits, et hauteurs d'eau. Durant l'hiver 2011-2012, on observe globalement plus de températures inférieures à 1,5°C sur l'ensemble du bassin versant, liée à la période de froid prolongée. On observe même qu'il s'agit d'une seule séquence où la température est en dessous d'1,5°C, ce qui correspond à la période de début février 2012 où les températures de l'air sont restées extrêmement froides pendant environ 15 jours consécutifs.
Seules les températures relevées pour la station SAN_12 restent supérieures à 1,5°C et même en limite du *preferendum* thermique de la truite avec 3,8°C en température minimale.

iv. Conditions favorables à l'infection par la PKD.

La PKD ou « Proliferative Kidney Disease » est une maladie infectieuse touchant préférentiellement les salmonidés. L'agent infectieux de cette maladie est un parasite qui se propage dans l'eau à partir de 9°C. L'apparition de la maladie chez la truite arc en ciel nécessite une température d'au moins 15°C pendant 15 jours (360 heures, trait rouge sur la figure 12).
Durant le suivi annuel 2011-2012, le nombre d'heures totales supérieur à 15°C est compris entre 1590 et 4084 heures. Pour 2010-2011, le nombre d'heures totales est compris entre 1431 et 3364 heures. De nombreuses stations présentent un risque pour la prolifération de la PKD, avec des séquences supérieures à 360 heures consécutives supérieures à 15°C.

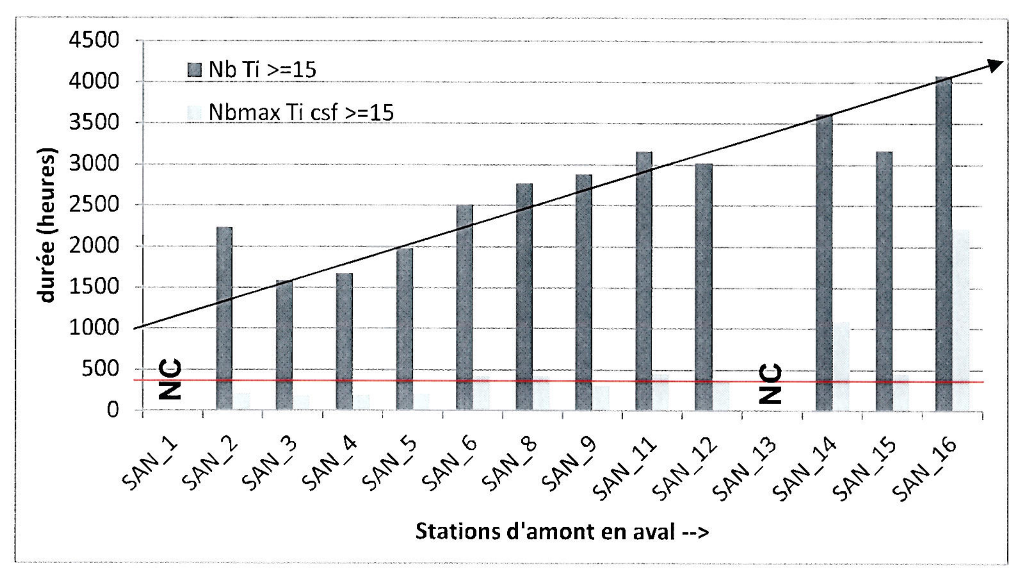


Figure 12: Durée en heures de la séquence maximale durant laquelle la température est restée au dessus de 15°C, et nombre d'heures total pour le suivi sept 2011-août 2012

Durant le suivi 2010-2011, les températures sont moins élevées, et la séquence maximale où la température est supérieure à 15°C est seulement de 377 heures, pour la station SAN_14 (le suivi thermique des stations SAN_15 et SAN_16 n'ayant pas encore commencé).

v. *Bilan sur le métabolisme thermique de la Sanne et de ses affluents*

✓ L'ensemble des stations étudiées présente des valeurs de températures qui peuvent être ponctuellement élevées en période estivale et basses en hiver pouvant atteindre des températures minimales proches de zéro. Les stations à l'aval, présentent des températures supérieures ou égales à 25°C. De fortes amplitudes thermiques annuelles et journalières sont également observées. Ceci peut être relié aux faibles lames d'eau observées en périodes d'étiage estivaux et hivernaux, qui rendent ces cours d'eau très sensibles aux températures de l'air, à la présence d'un étang en tête de bassin versant (assec en aval de ce dernier), l'absence ou la déconnexion souvent marquée de la ripisylve qui engendre un réchauffement conséquent de la lame d'eau.

✓ La quasi-totalité des stations de la Sanne (en amont de Salaise sur Sanne) montre des températures maximales supérieures à 19°C, limite du *preferendum* thermique de la truite. Cependant il est intéressant de noter que ces périodes sont relativement courtes. Ainsi la température moyenne des 30 jours les plus chauds varient entre 15 et 18 °C, ce qui ne semble pas limitant pour le développement de la vie salmonicole.
A partir de Salaise sur Sanne, la qualité de l'habitat la Sanne est très pauvre, calibrée, homogène et sans ripisylve, qui engendrent de forts réchauffements des eaux, et s'apparente à une rivière de 2nde catégorie piscicole (données piscicoles FDAAPPMA38, 2012).

iii. Le bassin versant du Dolon

2 sondes thermiques ont été placées sur le Dolon, une à l'amont sur la commune de Pisieu, et une à l'aval à la confluence avec le Lambroz.
Seulement deux sondes ont été posées car le Dolon connaît de nombreuses zones d'assec ou de très faibles débits ne permettant pas la pose de sonde. Les traits pointillés sur la carte montrent que le cours d'eau n'est pas pérenne. Par ailleurs, nous avions prévu plusieurs autres sondes, mais nous avons seulement pu dresser une carte des assecs et des faibles débits rencontrés au mois d'avril principalement.

Tableau 4: Liste des stations de suivi thermique sur le bassin versant du Dolon

Code station	Cours d'eau	Station	N° sonde	X	Y
DOL_1	DOLON	AVAL CONFLUENCE LAMBROZ	9692931	795240	2037650
DOL_2	DOLON	ROUTE DE PISIEU	9692930	813940	2047980

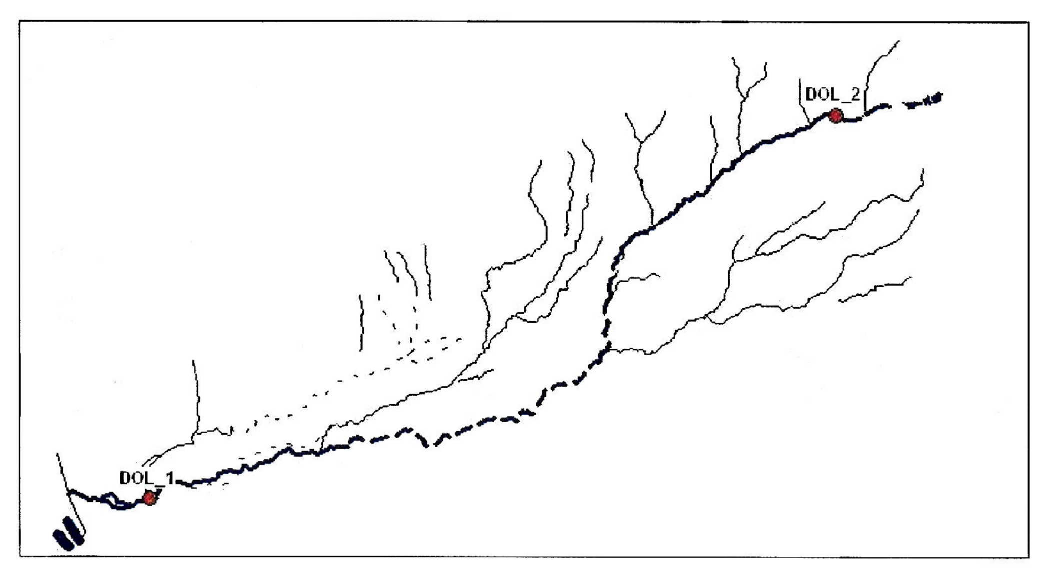


Figure 13: Cartographie du Dolon et des assecs constatés

i. Validation des données



Figure 14: Photographie de la station aval du Dolon, DOL_1

La sonde placée en amont, DOL_2, a subi plusieurs exondations suite à des crues. Ainsi, de nombreuses données ne peuvent pas être exploitées sur ce point.
La station plus à l'aval par contre est complètement exploitable.
Comme pour l'ensemble des autres stations de la Sanne et de la Varèze, une fiche de suivi thermique a été établie pour chacune des deux stations du Dolon, et se trouvent en Annexe 2.

ii. Conditions thermiques générales

Sur la partie amont, station DOL_2, seules les données entre avril 2011 et fin aout 2011 sont exploitables. Ainsi, il en ressort, que durant cette période, les températures moyennes journalières sont comprises entre **10,84 et 19,26°C**, alors que les températures instantanées mesurées varient de 9,47 à 20,23°C. La température moyenne des 30 jours les plus chauds est de **16,7°C**, et la période s'étend du 28 juillet au 26 aout 2011.
L'ensemble de ces données sont comprises dans le *preferendum* thermique de la truite. Cette station du Dolon présente une belle ripisylve, qui a un impact fort sur le métabolisme thermique. Malheureusement, plus en aval, le Dolon des assecs récurrents sur une longue partie de son linéaire où il s'infiltre. Les nombreux affluents sont également à sec et ne permettent pas de recharger le cours principal.

Sur la partie aval, on constate que ce tronçon est toujours en eau, grâce notamment au Lambroz, un affluent en rive gauche qui permet au Dolon de reprendre de l'eau sur sa partie aval, mais pas jusqu'à la confluence avec la Sanne.
Les températures moyennes journalières s'échelonnent de **0,9 à 21,2°C** entre septembre 2011 et août 2012. L'amplitude annuelle est donc supérieure à 20°C, et l'amplitude journalière maximale atteint 5,6°C.
Durant la période hivernale 2011-2012, on observe le même comportement que sur l'ensemble des autres stations étudiées. En effet, lors de l'épisode de froid, la température de

l'eau chute brutalement début février proche de 0°C, pour remonter au dessus de 4°C vers la mi-février. Il serait intéressant d'observer le comportement thermique lors d'un hiver moins rigoureux, car il semblerait que la température reste bien au-delà de 5°C en excluant cet épisode de froid prolongé.
Entre mars et juin, la structure thermique adopte un schéma classique d'augmentation de la température. Une baisse des températures vers mi-avril correspondrait à une crue printanière. En ce qui concerne le printemps 2011, on observe que les températures moyennes journalières vont de 13,2 à 21,2°C entre avril et aout.
La température moyenne des 30 jours les plus chauds est assez élevée puisqu'elle est **19,44°C** pour l'été 2012, et de **18,9°C** pour l'été 2011. Ces données confirment que l'été 2012 a été plus chaud et plus sec que celui de 2011.
Malgré le manque flagrant de données, on observe toutefois que la température moyenne des 30 jours les plus chauds est plus basse à l'amont (16,7°C) qu'à l'aval (18,9°C), avec un écart de plus de 2°C.

iii. Période de croissance et preferendum thermique de la truite fario

Sur la période de suivi d'avril à août 2011, qui comprend la période la plus chaude de l'année, nous obtenons des résultats intéressant pour la station amont, DOL_2. Cette station compte sur cette période 99% de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 19°C, avec seulement 51 heures dépassant 19°C, dont 12 heures consécutives. La température instantanée maximale atteint 20,2°C.
Sur cette même période, mais pour la station aval, DOL_1, on obtient 84% des jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 19°C, avec 686 heures au dessus de 19°C, et un maximum de 67 heures consécutives. La température maximale était de 23,1°C.
Ainsi, on observe que les conditions thermiques sont plus favorables à la truite fario sur l'amont du Dolon que sur l'aval.
Sur la période de septembre 2011 à août 2012, et pour la station aval uniquement, on obtient 92% de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 19°C.
Durant la phase embryo-larvaire, les températures inférieures à 1,5°C et supérieures à 15°C peuvent être considérées comme néfaste pour le développement optimal des œufs et des embryons. Durant cette phase de PEL, aucune température ne dépasse 15°C, mais on observe comme sur l'ensemble des autres stations étudiées, une période où la température hivernale chute brutalement et sur une longue durée pour passer sous le preferendum thermique de la truite, de 4°C. On observe 94 données où la température est inférieure à 1,5°C. Ce chiffre reste relativement faible en comparaison avec les autres stations de la Varèze et la Sanne; c'est pourquoi il serait intéressant de connaître les températures hivernales lors des années moins extrêmes.

iv. Conditions favorables à l'infection par la PKD

Sur le suivi de septembre 2011 à août 2012, le nombre d'heures totales supérieures à 15°C sur la station aval DOL_1, était de 3516 heures, avec une séquence maximale d'heures consécutives de **1097 heures** soit environ 48 jours consécutifs.
Cette station atteint donc des conditions favorables au développement de la PKD.

v. Bilan sur le métabolisme thermique du Dolon

Malheureusement, le faible nombre de sondes, ainsi que la perte de données sur l'une d'elle, ne nous permettent pas de tirer de conclusion sur le fonctionnement thermique du bassin versant du Dolon. Cependant, nous pouvons affirmer qu'il y a un réchauffement des eaux entre l'amont et l'aval. Lors de l'été 2011, une augmentation de 2°C a pu être observée sur la température moyenne des 30 jours les plus chauds, passant de 16,7°C à 18,9°C.

6. Conclusion

La FDAAPPMA 38 dans le cadre de sa convention avec le Conseil Général de l'Isère a mis en place un réseau expérimental de stations de mesure thermique des eaux superficielles en continu sur deux bassins versants du Rhône, la Varèze et la Sanne. Ce réseau de suivi mis en place entre 2010 et 2012, a permis d'enregistrer avec un pas de temps horaire les températures sur 48 stations. L'exploitation des données de ce réseau assez fin a permis de mettre en évidence le fonctionnement et le dysfonctionnement thermique de ces cours d'eau.

La mesure des températures en continu est une méthodologie simple, avec un matériel facile d'utilisation et de pose, reproductible sur d'autres bassins versants mais nécessitant un investissement humain assez lourd. En effet, l'enregistrement des données est fiable, mais plusieurs relèves annuelles (en général au printemps et à l'automne) permettent de s'assurer du bon fonctionnement des sondes, et de leur bon positionnement. Ainsi, il est nécessaire de placer les sondes de suivi thermique sur des cours d'eau pérennes. En effet, il est difficile, voire même impossible, d'apprécier le moment précis où la sonde passe hors d'eau, notamment aux périodes de mi-saison, où la température de l'eau est proche de la température de l'air.

Le pas de temps choisi, est le pas de temps horaire. Ce paramètre permet d'utiliser une macro Excel d'aide au calcul de variables thermiques, qui nécessite 24 données par 24 heures pour le calcul de l'ensemble des variables. La modification de ce paramètre, pour un pas de temps plus long ne semble pas judicieuse puisqu'on risquerait de passer à côté des températures maximales et minimales dont l'heure peut varier au cours des saisons. Par ailleurs, le réseau de suivi RCS (Réseau de Contrôle et Surveillance) de l'ONEMA dans le cadre de la DCE utilise également un pas de temps horaire pour l'enregistrement des données thermiques ; l'exploitation des données en étant plus fine.

Le réseau de suivi mis en place sur les bassins versants de la Sanne et de la Varèze, a permis une étude fine du comportement thermique des cours d'eau grâce au nombre important de sondes. Non seulement, ce réseau a permis de connaître la valeur intrinsèque de la température, mais également de connaître les relations entre le cours d'eau principal et ses affluents, l'impact d'un étang, de la ripisylve, de l'ensoleillement, ou de débit… et de mettre en évidence les dysfonctionnements physiques de ces cours d'eau.

La durée de ce suivi a permis également d'observer l'impact, la relation directe du climat (météorologie) sur le régime thermique de ces rivières. Par ailleurs, la durée et le maillage fin de ce réseau ont permis de pallier aux éventuels manques de données (perte de sondes suite aux crues, exondation temporaires etc.).

Les données thermiques couplées aux visites de terrain et aux connaissances techniques du milieu, ont permis de mettre en évidence de nombreux déséquilibres :

- Manque hydraulique important et récurrent sur de nombreux affluents et sur les cours d'eau principaux
- Etalement de la lame d'eau suite aux différents travaux (curage
- Faibles débits d'étiage (estivaux et hivernaux)

- Manque de ripisylve et/ou déconnexion de celle-ci (enfoncement du lit)
- Présence d'étangs en têtes de bassins versants
- Pas ou peu d'apports hydrauliques des affluents
- Température anormalement élevée dès les têtes de bassin versant qui ne font qu'amplifier l'augmentation des températures à l'aval.

Ces constations ne font que conforter les résultats médiocres des pêches électriques réalisées par la FDAAPPMA sur ces bassins versants

Il serait intéressant, dans le cadre d'un suivi du changement climatique global, de conserver des sondes sur le cours d'eau Varèze, par tronçon homogène, afin de voir l'évolution sur le long terme de la température. Ce suivi thermique sera également utile pour constater l'évolution des débits.

6 sondes sont proposées :

- Varèze à l'aval de la confluence grande et petite Varèze, commune de St Julien de l'H.
- Varèze à Cour et Buis, lieu-dit Meyssié, colonie de vacances
- Varèze à Cour et Buis, lieu-dit Chez Bourne
- Varèze à Auberives sur Varèze, aval confluence Suzon
- Suzon à Auberives sur Varèze, amont confluence Varèze
- Varèze à Clonas sur Varèze, lieu-dit Chuzy.

Comme dit précédemment, ce réseau de suivi thermique sur 3 années d'étude (2 cycles annuels complets) a permis de montrer le régime thermique des bassin versant de la Varèze et de la Sanne.

Cependant, il nous parait intéressant d'affiner ces résultats et que ceux-ci soient mis en exergue grâce aux nombreuses études complémentaires menées notamment sur le bassin versant de la Varèze : Etude du fonctionnement morphoécologique de la Varèze (BURGEAP, FDAAPPMA38 2010), diagnose piscicole et hydrobiologique de la Varèze et de ses principaux affluents (FDAAPPMA38 2011), étude écologique (Gère vivante 2011-2012), étude qualité d'eau (CG38 2011-2012), atlas astacicole du bassin versant de la Varèze (FDAAPPMA38 2011), et les données météorologiques (température air et pluviométrie) disponibles *via* le CG38.

L'ensemble de ces données corrélées aux données thermiques permettraient d'avoir une connaissance fine du fonctionnement général du cours d'eau Varèze, et la poursuite du réseau de suivi de rendre compte de la diversité des conditions rencontrées sur plusieurs années.

En l'absence de mesures continues, la connaissance des températures des cours d'eau par des mesures ponctuelles demeure très sommaire.

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau, la définition du bon état amène à examiner le paramètre température parmi l'ensemble des paramètres de physico-chimie. D'une manière plus globale, le paramètre température pourrait être utilisé en plus des paramètres d'hydrologie pour caractériser une année sur un cours d'eau (DREAL Pays de la Loire).

Mieux connaître les évolutions de températures extrêmes constitue par ailleurs une nécessité compte tenu de l'effet potentiel de ces dernières sur la biologie des écosystèmes aquatiques.

7. Bibliographie

BOUTET-BERRY L., 2000. La problématique plan d'eau. CSP Délégation Régionale Centre, Pays de Loire Poitou-Charentes, 36p.

CHANEZ E., 2011. Diagnose piscicole de la Varèze et ses principaux affluents, FDP 38.

CRISP D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. Hydrobiologia, 323, 201-221.

DREAL Pays de la Loire, 2010. Mesures en continu des températures sur quelques rivières des Pays de la Loire, période 2003-2008. 16p.

DUMOUTIER et al., 2010, MACMASalmo 1.0, manuel d'utilisation, FDP74, 21p.

ELLIOT J.M., 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. Pp 209-245 In stress and fish, Pickering A.D (ed), Academic Press London.

LALLIAS J., et al.., 2011, La Varèze et ses affluents, etude du fonctionnement morphoécologique. 87p

VIGIER L, CATINAUD L., BINI G., 2010. Etude de la qualité thermique de l'Hermance et du Vion. Rapport FDP74. 17p.

VIGIER L., 2008. Etude de la qualité thermique des Usses et de ses affluents, données 2006-2007. Rapport FDP74. 21p.

VIGIER L., 2011. Etude de la structure thermique du cours principal du Giffre : évaluation des effets du barrage de Taninges sur le régime thermique du Giffre. Données 2009-2010. Rapport FDP74. 14p.

8. Annexes

Annexe 1 : Variables thermiques calculées
Annexe 2 : Résultats bruts MACMA*Salmo*1.0
Annexe 3 : Fiches de suivi thermique
Annexe 4 : Températures de l'air à Pommier de Beaurepaire et à la Chapelle de Surieu. Février 2012
Annexe 5 : Assecs constatés sur l'ensemble des bassins versants (Gère vivante 2011)

Annexe 1 : Variables thermiques calculées

A - Variables thermiques générales du milieu

• Température instantanée minimale (**Ti min**) = valeur de la température instantanée minimale relevée sur la plage de données étudiées.

• Température instantanée maximale (**Ti max**) = valeur de la température instantanée maximale relevée sur la plage de données étudiées.

• Amplitude thermique (**ATi**) = différence entre les valeurs de températures instantanées maximale et minimale (= Ti max - Ti min).

• Amplitude thermique journalière maximale (**Ajmax Ti**) = la valeur d'amplitude thermique journalière la plus élevée obtenue sur la plage de données étudiées.

• Date à laquelle l'amplitude thermique journalière maximale a été observée (**D Ajmax Ti**).

• Température moyenne journalière minimale (**Tmj min**).

• Température moyenne journalière maximale (**Tmj max**).

• Amplitude thermique des moyennes journalières (**ATmj**) = différence entre les moyennes journalières maximale et minimale (= Tmj max – Tmj min).

• Date à laquelle la température moyenne journalière maximale a été observée (**D Tmj max**).

• Température moyenne de la période (**Tmp**) = calcule la moyenne des températures instantanées relevées pendant le suivi (=ΣTi/nTi).

• Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (**Tm30j max**) = calcule, à partir des températures moyennes journalières, la température moyenne sur les 30 jours les plus chauds.

Cette donnée est directement exploitable pour le calcul de la biotypologie d'après la formule proposée par Verneaux (1973).

• Date de début de la période correspondante aux 30 jours consécutifs les plus chauds (**Dd Tm30j max**).

• Date de fin de la période correspondante aux 30 jours consécutifs les plus chauds (**Df Tm30j max**).

Ces deux dates permettent de repérer rapidement au sein de la plage étudiée la période la plus chaude de l'année.

B - Variables en rapport avec le preferendum thermique de la truite commune

Ce preferendum peut être défini comme la plage de températures d'eau permettant une activité métabolique de la truite commune c'est-à-dire favorable à son alimentation et à sa croissance. D'après les résultats de plusieurs études (Alabaster et Lloyd, 1980 ; Crisp, 1996 ; Elliott, 1975, 1981, 1984, 1994 ; Elliott et Hurley, 2001 ; Varley, 1967), les valeurs limites basse et haute de ce preferendum ont été fixées respectivement à 4°C et 19°C. De même la valeur de 25°C a été considérée comme la limite létale ou sub-létale pour les juvéniles et les adultes.

• Nombre total de jours durant lesquels la température moyenne est supérieure ou égale à 4°C et inférieure ou égale à 19°C (**Nbj Tmj 4-19**).

• Pourcentage de jours au cours de la plage étudiée où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 19°C (**%j Tmj 4-19**). = [Nbj Tmj 4-19 / Nb total de jours de la plage étudiée] x 100.

• Date à laquelle la température moyenne journalière (Tmj) est pour la première fois sur la plage étudiée strictement inférieure à 4°C (**Dd Tmj** <4).

• Date à laquelle la température moyenne journalière (Tmj) est pour la dernière fois sur la plage étudiée strictement inférieure à 4°C (**Df Tmj** <4).

Ces deux dates permettent de repérer rapidement au sein de la plage étudiée la période la plus froide de l'année pouvant avoir une influence sur la biologie de la truite (métabolisme, croissance).

• Pourcentage de jours au cours de la plage étudié où la température moyenne journalière est strictement inférieure à 4°C **(%j Tmj<4)**.

• Pourcentage de jours au cours de la plage étudié où la température moyenne journalière est strictement supérieure à 19°C **(%j Tmj>19)**.

Ces deux variables sont complémentaires de la variable %j Tmj 4-19 car elles permettent de savoir comment le pourcentage de jours durant lequel les températures ne sont pas favorables à la truite commune (100 - %j Tmj 4-19) se réparti entre températures faibles et élevées.

• Nombre d'heures totales où la température instantanée est strictement supérieure à 19°C (**Nb Ti > 19**).

• Nombre de séquences pendant la période étudiée durant lesquels les températures instantanées restent strictement supérieures à 19°C (**Nb sq Ti > 19**).

• Nombre d'heures maximales consécutives durant lesquelles les températures instantanées restent strictement supérieures à 19°C (**Nbmax Ti csf > 19**).

• Nombre d'heures totales où la température instantanée est supérieure ou égale à 25°C (**Nb Ti >= 25**).

• Nombre de séquences pendant la période de suivi durant lesquelles les températures instantanées restent supérieures ou égales à 25°C (**Nb sq Ti >= 25**).

• Nombre d'heures maximales consécutives durant lesquelles les températures instantanées restent supérieures ou égales à 25°C (**Nbmax Ti csf >= 25**).

C - Conditions thermiques potentiellement favorables au développement de la MRP (ou PKD)

La MRP (maladie rénale proliférative ou « Proliferative Kidney Disease »), est une maladie infectieuse touchant préférentiellement les truites (*Salmo trutta* et *Oncorhynchus mykiss*), l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) et le saumon atlantique (*Salmo salar*). Elle provoque, chez les sujets atteints, une importante hypertrophie des reins et éventuellement du foie et de la rate qui peut entraîner dans les populations des taux de mortalité relativement importants notamment chez les juvéniles. L'agent infectieux est un parasite nommé *Tetracapsula bryosalmonae* (Canning *et al.*, 1999) qui utilise comme hôte intermédiaire des bryozoaires (Anderson *et al.*, 1999). La température de l'eau joue un rôle important dans le cycle de développement de ce parasite qui se propage dans le milieu naturel lorsque celle-ci atteint 9°C (Gay *et al.*, 2001). Des études en milieu contrôlé (De Kinkelin et Gay, 2000) ont montré qu'à partir d'une durée de 2 semaines consécutives à un minimum de 15°C, des sujets de truite arc en ciel étaient infectées.

La prise en compte du risque potentiel d'infection des juvéniles par ce parasite dans l'étude des populations de truites apparaît pertinente au vu de la mise en évidence récente de sites infectés en Grande Bretagne (Feist *et al.*, 2002) et en Suisse (Wahli *et al.*, 2002) où la MRP est considérée sur certains secteurs comme responsable du déclin piscicole (Burkhardt-Holm *et al.* 2002). La recherche systématique de symptômes visuels sur environ 5000 juvéniles de truites réparties sur plus de 100 secteurs a montré que ce parasite avait infecté plusieurs populations sur différents cours d'eau de Haute-Savoie (Caudron et Champigneulle, 2007).

- Nombre d'heures totales où la température instantanée est supérieure ou égale à 15°C (**Nb Ti >= 15**).
- Nombre de séquences pendant la période étudiée durant lesquelles les températures instantanées restent supérieures ou égales à 15°C (**Nb sq Ti >=15**).
- Nombre d'heures maximales consécutives durant lesquelles les températures instantanées restent supérieures ou égales à 15°C (**Nbmax Ti csf >=15**).

Cette dernière variable est particulièrement intéressante pour évaluer si les conditions thermiques sont potentiellement favorables à l'infection des populations de truite par la MRP. En effet, si la valeur approche ou dépasse 360 heures (=15 jours consécutifs) le parasite si il est présent dans les bryozoaires peut potentiellement infecter les salmonidés en place.

D - Conditions thermiques au cours de la phase de vie embryo-larvaire (intra-graviers)

Toutes les variables de cette catégorie sont calculées uniquement sur les données thermiques comprises dans la période de vie sous-graviers de la fécondation à l'émergence. Cette période court à partir de la date médiane de ponte renseignée par l'utilisateur jusqu'à la date médiane d'émergence calculée en utilisant les valeurs de températures et la formule établie par Crisp (1988).

La date médiane de ponte est définie comme la date à laquelle 50% des frayères totales sont creusées par les géniteurs. A titre d'exemple, sur le département de Haute-Savoie, des recensements quotidiens de frayères sur plusieurs sites d'études (Champigneulle *et al.*, 1988 et 2003 ; Caudron et al., 2002) pendant la période de reproduction ont permis d'estimer que le 15 décembre correspondait à une date médiane de ponte moyenne

- Date médiane de ponte (**D50 ponte**) = rappel de la date médiane de ponte rentrée par l'utilisateur.
- Nombre de jours d'incubation (**Nbj Inc**) = estimation du nombre de jours nécessaire pour que 50% des frayères atteignent 100% du développement des œufs de la fécondation à l'éclosion.

Ce calcul est réalisé à partir de la date médiane de ponte fixée par l'utilisateur et la formule suivante (Crisp, 1988 et 1992) permettant d'estimer pour chaque jour le pourcentage de développement des oeufs à partir de la température moyenne journalière :

$$Log_{10} D_2 = [-13.9306 \, log_{10}(Tmj+80.0)] + 28.8392$$

- Date médiane d'éclosion (**D50 Ecl**) = estimation de la date (à partir de la formule précédente) à laquelle 50% des frayères ont atteint un taux de développement de 100% jusqu'au stade éclosion.
- Nombre de jours de résorption (**Nbj Rsp**) = estimation du nombre de jours nécessaire pour que 50% des frayères atteignent 100% du développement des larves de l'éclosion des œufs à l'émergence des alevins. (=Nbj Emg - Nbj Inc).
- Nombre total de jours de la phase de vie Embryo-Larvaire (PEL) (**Nbj PEL**) = estimation du nombre total de jours nécessaire pour que 50% des frayères atteignent 100% du développement embryo-larvaire total de la fécondation des ovules à l'émergence des alevins.